

**Camilla Adriano Wojcikiewicz**

**Avaliação do aporte de fósforo em efluentes de sistemas de cultivo  
intensivo de *Litopenaeus vannamei* em viveiro com solo  
impermeabilizado e o possível impacto ambiental**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Aquicultura da  
Universidade Federal de Santa Catarina,  
para a obtenção do título de Mestre em  
Aquicultura.

Orientador: Luis Alejandro Vinatea Arana  
Coorientadora: Katt Regina Lapa

Florianópolis  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Wojcikiewicz, Camilla Adriano

Avaliação do aporte de fósforo em efluentes de sistemas de cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei* em viveiro com solo impermeabilizado e o possível impacto ambiental / Camilla Adriano Wojcikiewicz ; orientador, Luis Alejandro Vinatea Arana ; coorientadora, Katt Regina Lapa. - Florianópolis, SC, 2015.

56 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós Graduação em Aquicultura.

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. camarões marinhos. 3. carga máxima admissível. 4. pegada hídrica. 5. impactos ambientais. I. Arana, Luis Alejandro Vinatea. II. Lapa, Katt Regina. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Aquicultura. IV. Título.

**Avaliação do aporte de fósforo em efluentes de sistemas de cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei* em viveiro com solo impermeabilizado e o possível impacto ambiental**


Por

CAMILLA ADRIANO WOJCIKIEWICZ

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

**MESTRE EM AQUICULTURA**

e aprovada em sua forma final pelo Programa de  
Pós-Graduação em Aquicultura.



---

Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.  
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:




---

Dr. Luiz Alejandro Vinatea Arana – *Orientador*



---

Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez



---

Dra. Anita Rademaker Valença



---

Dr. Evoy Zaniboni Filho



Este trabalho é dedicado à minha  
amada avó Teresa (*in memoriam*).



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pois em muitos momentos dessa jornada me proporcionou sabedoria e paciência para enfrentar os desafios.

Agradeço aos meus pais, Egon e Cleusa, e aos meus irmãos, Felipe e Priscilla por me apoiarem nesta jornada.

Agradeço ao meu companheiro Marcos, por todo amor e carinho, e principalmente pelo apoio e por nunca me deixar desistir de realizar este sonho.

À minha grande amiga Eliziane, por dividir momentos de alegrias e angustias. Por todo carinho e compreensão e parceria.

Ao meu orientador Professor Vinatea, por ter confiado no meu projeto e com quem tive a honra de trabalhar e aprender.

À minha coorientadora, Professora Katt, por todos os momentos de alegria, aprendizado e amizade.

Ao Luis Hamilton, por todo conhecimento transmitido e pela amizade.

À Cláudia do LAPAD, por disponibilizar seu tempo para me transmitir seu conhecimento e por todo carinho comigo.

Ao Markus Pahlow, da Universidade de Twente – Holanda, por mais de um ano de conversas, ideias, dicas, por ser tão agradável e honesto. Parte deste trabalho eu devo a ele.

Ao professor Carlos Augusto França Schettini, da Universidade Federal de Pernambuco, pela gentileza ao me atender e tirar minhas dúvidas.

Ao Laboratório de Camarões Marinhos (professores, funcionários e alunos), por todo aprendizado e disponibilidade de infraestrutura. Em especial ao Felipe Vieira, pelo apoio nos momentos de dúvida.

À Fazenda Experimental Yakult, em especial ao Jairo, por ser tão prestativo e atencioso nos dias que estive na fazenda.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, e principalmente ao Carlito por toda sua dedicação ao Programa.

Agradeço à CAPES pela bolsa de estudos concedida.

Agradeço a todos que direta e indiretamente fizeram deste sonho realidade.





“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.  
(Madre Teresa de Calcuta)



## RESUMO

A demanda mundial por alimentos vem aumentando a pressão sobre os recursos naturais devido a intensificação dos sistemas produtivos. Dentre as atividades de aquicultura, a carcinicultura mundial apresenta um rápido crescimento nos últimos anos. No Brasil esta atividade passa por uma discreta expansão associada a uma redução de produtividade. Nos últimos anos os sistemas de cultivos de camarões marinhos foram aprimorados e modelos fechados sem renovação de água vêm apresentando êxito operacional. A impermeabilização do solo, característica de destaque dos sistemas de cultivos intensivos, pode proporcionar alteração na dinâmica de concentração de fósforo total na coluna d'água. O objetivo deste estudo foi identificar o aporte de fósforo total oriundo do cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei*, em viveiros impermeabilizados com geomembrana, através de dois métodos de avaliação de impacto ambiental: carga máxima admissível e pegada hídrica cinza. O estudo foi conduzido na fazenda Experimental Yakult – UFSC. Os resultados obtidos nas análises de água durante a despesca indicaram concentração média de fósforo total no efluente de 2,68 mg L<sup>-1</sup>. A estimativa de carga máxima admissível de fósforo total suportada pela Lagoa da Cruz não foi excedida pelo efluente gerado pela fazenda, desconsiderando outras fontes de poluição. A pegada hídrica resultou em um volume de água de 68% do utilizado na produção. Em curto prazo não foram observados efeitos nocivos da fazenda Yakult-UFSC na Lagoa da Cruz. Recomenda-se a avaliação de impactos em longo prazo para observar os efeitos em cascata no ecossistema aquático.

**Palavras-chave:** Aquicultura, camarões marinhos, carga máxima admissível, pegada hídrica cinza, impacto ambiental.



## ABSTRACT

Global demand for food is increasing pressure on natural resources due to intensification of production systems. Among the aquaculture activities, the shrimp farming in mundial ambit is growing rapidly in recent years. In Brazil this activity undergoes a slight expansion associated with reduced of productivity. In the last years, the marine shrimp production systems have been upgraded and solutions without water exchange presented operational success. Soil sealing, important characteristic of intensive cropping systems, can provide changes in the dynamics of total phosphorus concentration in the water column. The objective of this study was to identify the total phosphorus input by the intensive cultivation of *Litopenaeus vannamei* in ponds lined with waterproof geomembrane, using two methods of evaluation of environmental impact: maximum permissible load and gray water footprint. The study was conducted at the Experimental Farm Yakult - UFSC. The results obtained from water analysis during the harvesting indicated average concentration of total phosphorus in the effluent of  $2.68 \text{ mg L}^{-1}$ . The estimated maximum permissible load of total phosphorus supported by Lagoa da Cruz has not been exceeded by the effluent generated by the farm, excluding other sources of pollution. The water footprint resulted in a water volume of 68% used in production. In the short term were observed harmful effects of Yakult-UFSC farm on Lagoa da Cruz. It is recommended to long-term impact evaluation to observe the ripple effects in the aquatic ecosystem

**Keywords:** Aquaculture, marine shrimp, maximum permissible load, gray water footprint, environmental impact



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área fixada para captação de água e drenagem do efluente do sistema de cultivo estudado. ....	39
Figura 2 - Concentração de fósforo total no efluente do cultivo intensivo de camarões marinhos com solo impermeabilizado e da Lagoa da Cruz. ....	44





## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Estimativa da carga máxima admissível para a Lagoa da Cruz, considerando o efluente do sistema de cultivo intensivo de camarões marinhos com solo impermeabilizado. ....	44
Tabela 2 – Estimativa da pegada hídrica cinza da etapa de engorda do cultivo de camarões marinhos com solo impermeabilizado. ....	45



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Modelo simplificado por Von Sperling da equação de carga máxima admissível de Vollenweider (1976) .....	41
Equação 2 – Coeficiente da perda de fósforo por sedimentação .....	41
Equação 3 – Pegada hídrica cinza para fontes pontuais de poluição com uso não-consuntivo da água.....	42



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$C_{\text{cap}}$  = concentração da substância na água captada ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$C_{\text{eff}}$  = concentração da substância no efluente ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$C_{\text{max}}$  = concentração máxima aceitável da substância para o padrão ambiental local ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$C_{\text{nat}}$  = concentração natural da substância no corpo receptor sem modificações antrópicas ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$\text{CMA}$  = carga máxima admissível ( $\text{kg ano}^{-1}$ )

$K_s$  = coeficiente de perda de fósforo por sedimentação ( $\text{ano}^{-1}$ )

$L$  = carga máxima admissível de fósforo ( $\text{kg ano}^{-1}$ )

$P$  = concentração de fósforo no corpo hídrico ( $\text{g m}^{-3}$ )

$\text{PH}_{\text{proc, cinza}}$  = pegada hídrica cinza ( $\text{m}^3$ )

$Q_{\text{cap}}$  = volume da água captada ( $\text{L s}^{-1}$ )

$Q_{\text{eff}}$  = vazão do efluente ( $\text{L s}^{-1}$ )

$\text{TDH}$  = tempo de detenção hidráulica (ano)

$V$  = volume da lagoa ( $\text{m}^3$ )



## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>25</b>
<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>33</b>
<b>3.ARTIGO CIENTÍFICO.....</b>	<b>35</b>
RESUMO.....	35
INTRODUÇÃO .....	36
MATERIAL E MÉTODOS .....	38
<b>Local de estudo e a hidrodinâmica do corpo receptor Lagoa da Cruz.....</b>	<b>38</b>
<b>Dimensionamento do viveiro, fazenda, laguna e coleta de dado .....</b>	<b>40</b>
<b>Metodologia para o cálculo de Carga Máxima Admissível de fósforo.....</b>	<b>41</b>
<b>Metodologia para o cálculo da Pegada Hídrica Cinza .....</b>	<b>42</b>
<b>RESULTADOS. ....</b>	<b>43</b>
<b>Carga Máxima Admissível de fósforo total.....</b>	<b>44</b>
<b>Pegada Hídrica Cinza .....</b>	<b>44</b>
DISCUSSÃO .....	45
CONSIDERAÇÕES FINAIS.. .....	47
REFERÊNCIAS.....	48
<b>4.REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>53</b>





## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento demográfico mundial e o crescimento econômico de países em desenvolvimento incrementam a demanda mundial de alimentos. Para atender a essa demanda as atividades produtivas de alimentos tem intensificado o processo de exploração dos recursos naturais, principalmente de recursos hídricos, exacerbando a capacidade de regeneração do meio ambiente (FAO, 2011).

Atualmente a aquicultura é considerada uma atividade altamente promissora para o atendimento da demanda de alimentos. Ao nível mundial a atividade apresenta um rápido crescimento quando comparada a outros sistemas de produção de alimentos de origem animal (DIANA, 2009). No ano de 2012, a produção mundial de pescados para consumo humano oriundos da aquicultura foi de aproximadamente 67 milhões de toneladas. Dentre as espécies aquícolas cultivadas, os peixes apresentaram maior contribuição na produção com 44,2 milhões de toneladas, seguido dos moluscos com 15,2 milhões de toneladas, crustáceos com 6,4 milhões de toneladas e demais organismos com 0,865 milhões de toneladas (FAO, 2014a).

Ainda no âmbito mundial, a carcinicultura é um dos ramos da aquicultura que vem apresentando rápido crescimento nos últimos 10 anos, passando de aproximadamente 2 milhões de toneladas produzidas no ano de 2003, para pouco mais de 4 milhões de toneladas em 2012. A espécie de destaque é o camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, responsável por 64% da produção em 2003, e por 73% em 2012 (FAO, 2014b).

No Brasil a carcinicultura alcançou em 2014 uma produção de 90 mil toneladas, sendo que 99,7% foram destinados ao mercado interno (ROCHA, 2015). A atividade passa por uma retomada de crescimento após limitações de âmbitos ambiental, social e econômico retardarem o desempenho positivo da atividade e dificultarem o crescimento do setor.

Embora venha apresentando uma discreta expansão de áreas cultivadas, a carcinicultura brasileira teve uma redução na sua produtividade. Observa-se que essa redução de produtividade ocorreu devido a diminuição da densidade de estocagem utilizada pelos produtores, influenciada pela preocupação com surtos de doenças que anteriormente afetaram o setor. Atualmente a carcinicultura vem assumindo importante papel de inclusão social, buscando o aumento da produção através de práticas sustentáveis (ABCC, 2013).

Ao longo dos anos os sistemas de cultivos de ciclo foram aprimorados e novos modelos surgiram visando ampliar a produtividade

e, principalmente, reduzir os impactos ambientais desta atividade. A descarga de efluentes ricos em matéria orgânica nos corpos hídricos e a ocupação do solo têm levantado preocupações globais sobre os impactos ambientais adversos de tais práticas (BOYD, 2003; BIAO; KAIJIN 2007; AHN et al., 2010; BUI; LUONG-VAN; AUSTIN, 2012).

Em busca da redução dos impactos ambientais os sistemas de cultivo fechados sem renovação de água e com aeração suplementar vêm sendo implementados para a carcinicultura e tem apresentado êxito operacional (MCINTOSH, 2000a; BROWDY et al., 2001; BOYD; CLAY, 2002).

Um dos sistemas de cultivo que vem ganhando destaque por apresentar benefícios ambientais quando comparados aos sistemas produtivos tradicionais é o modelo de Belize. Este sistema de cultivo pressupõe o melhor gerenciamento da água e do solo dos cultivos intensivos através do manejo adequado dos animais com uso mais eficiente da água, possibilitando um aumento da densidade de estocagem com uma menor geração de impactos ambientais (MCINTOSH, 2000a; 2000b; 2000c; BOYD; CLAY, 2002). Por apresentar vantagens produtivas e ambientais, os sistemas intensivos de produção têm se adaptado a estas características.

O sistema de cultivo do modelo de Belize possibilita ainda o uso de alimentação artificial de baixo teor proteico, tendo em vista o crescimento bacteriano que servirá como alimento suplementar e propiciará uma melhora na qualidade de água. O uso de aeração intensa mantém o material particulado em suspensão e favorece a decomposição orgânica devido ao aumento da disponibilidade de oxigênio dissolvido na água. Zonas de anaerobiose devido a decomposição da matéria orgânica no sedimento são evitadas através da impermeabilização no solo com o uso de uma geomembrana sintética (MCINTOSH, 2000b, 2000b; BOYD; CLAY, 2002).

A impermeabilização do solo é efetuada por uma geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) fabricada de acordo com a norma GM13 (desenvolvida pelo Instituto de Pesquisa Geosintética da Universidade de Drexel-USA) que especifica um conjunto de propriedades físicas, mecânicas e químicas mínimas que devem ser alcançadas pela geomembrana. A utilização de geomembrana nos cultivos de camarões marinhos propicia maior controle do ambiente de cultivo reduzindo a erosão do solo. O lodo resultante do sistema de cultivo é orgânico, o que possibilita sua utilização como fertilizante na agricultura de espécies resistentes a salinidade. Além do ambiente de cultivo, o ecossistema circundante também é beneficiado através da

redução da contaminação e salinização do solo, de águas subterrâneas e superficiais (BOYD; CLAY, 2002).

Este sistema de cultivo é considerado de 20 a 40 vezes mais eficiente no uso da água quando comparados a sistemas tradicionais semi-intensivos, por não haver renovação de água durante o ciclo e a geração de efluentes ser menor devido a possibilidade de reuso da água. Embora a geração de efluente seja menor, o impacto sobre o meio ambiente dependerá diretamente da concentração dos compostos que será liberada no efluente somada a capacidade de assimilação do corpo receptor para os mesmos compostos, conforme alertado por Piedrahita (2003) já que muitos sistemas ainda não utilizam o reuso da água de cultivo.

O solo impermeabilizado pode interferir na dinâmica dos nutrientes na coluna d'água. O fósforo é um dos nutrientes que podem sofrer alterações na sua dinâmica devido a impermeabilização do solo. Sem a interface do sedimento livre os íons de fosfato, derivados do acúmulo de ração no fundo do tanque, da excreta dos camarões e da decomposição de animais mortos, não serão adsorvidos no sedimento e irão incrementar sua disponibilidade no sistema de cultivo (MCINTOSH, 2000a). Embora o fósforo não seja tóxico aos animais, o seu excesso na coluna d'água promove um efluente altamente eutrofizante.

O fósforo é um elemento químico com um ciclo considerado simples e lento no meio aquático, basicamente as plantas o assimilam na forma de íons de fosfato na coluna d'água ou solo, os animais eliminam o excesso de fósforo excretando íons de fosfato na urina e as bactérias fosfatizantes convertem o fósforo dos detritos em íons de fosfato. O fósforo excedente na coluna d'água é adsorvido no sedimento na presença de íons de ferro, alumínio, sulfeto, compostos orgânicos e carbonatos, condição essa controlada pelo estado de oxirredução do hipolímnio e de pH. Quando ocorre depleção de oxigênio ou aumento do pH (próximo ou acima de 10) no ambiente aquático o fósforo é dessorvido e retorna a coluna d'água (RICKFELS, 2010).

Embora possua um papel importantíssimo para organismos vivos no ambiente aquático, o fósforo é normalmente escasso em águas superficiais bem oxigenadas e seu excesso é considerado o fator determinante de aumento de produtividade aquática (RICKFELS, 2010). De acordo com a Lei dos Mínimos de Liebig o crescimento de um organismo é limitado pelo elemento essencial que está presente na concentração inferior ao requerido por este organismo (KREUS, LANZER, PARIS, 1995).

Na aquicultura o fósforo é considerado essencial por ser um micronutriente primário relevante para o aumento da produtividade primária e o atendimento a base da cadeia alimentar. Este nutriente é introduzido nos sistemas de cultivo através de fertilizantes orgânicos e, principalmente, de alimentos artificiais (BOYD, TUCKER, 1998; BOYD et. al., 2006).

Quando o processo de adição desse nutriente é intenso em ambientes aquáticos limitados pelo mesmo, ocorre um crescimento acelerado da biomassa que não é incorporado ao ambiente na mesma velocidade e acaba promovendo um desequilíbrio ecológico (RIVERA, 2003). A produção aquícola pode ser limitada se o ecossistema circundante não tiver a capacidade de assimilar os efluentes lançados ou já estiver no limite de poluição, possibilitando o risco de auto-poluição do cultivo (BOYD et al. 2007).

O lançamento de fósforo em corpos hídricos deve ser devidamente controlado visando minimizar os efeitos prejudiciais em cascata na estrutura e na função dos ecossistemas aquáticos (LAI; LAM, 2008). O fósforo oriundo de lançamentos de efluentes contínuos, ou pontuais em grandes volumes, poderá ficar acumulado no sedimento durante anos. Mesmo que o aporte externo desse nutriente seja suprimido, o corpo receptor ainda poderá sofrer processos de eutrofização devido a liberação do fósforo, retardando assim a recuperação do ecossistema aquático (BOERS, 1998).

Quando desconhecidos os processos naturais de autodepuração capazes de neutralizar totalmente as cargas orgânicas lançadas em corpos d'água é necessário estimar a capacidade do ecossistema aquático de receber essas cargas. A fim de reduzir os impactos ambientais e ampliar a demanda de recursos naturais são utilizados diversos modelos matemáticos que estimam de forma empírica os danos ambientais que ações antrópicas podem causar. Modelos matemáticos como o de Vollenweider (1976), que estima a concentração máxima admissível de fósforo em corpos d'água, e o de Hoekstra (2011), que estima a necessidade hídrica para assimilação de uma carga poluente (pegada hídrica cinza), auxiliam a caracterizar o resultado das ações antrópicas em ambientes lacustres.

O modelo de Vollenweider (1976) foi desenvolvido para a avaliação do potencial de eutrofização de um corpo hídrico. O modelo empírico, utilizado predominantemente para lagos e reservatórios temperados, avalia o estado trófico ou carga máxima admissível de lagos através da estimativa de concentração de fósforo. A fim de evitar os processos de eutrofização, ocorridos devido ao excesso de nutrientes

dos efluentes lançados em corpos hídricos, a abordagem de estimativa de carga máxima admissível fornece dados numéricos da concentração máxima do nutriente que o ambiente aquático suporta sem sofrer alterações ambientais. O modelo simplificado pode ser calculado de acordo com a Equação 1:

$$L = \frac{P * V * (\frac{1}{t} + Ks)}{10^3} \quad (1)$$

onde:

L = carga máxima admissível de fósforo (kg ano<sup>-1</sup>);

P = concentração de fósforo no corpo hídrico (g m<sup>3</sup> <sup>-1</sup>);

V = volume da represa (m<sup>3</sup>);

t = tempo de detenção hidráulica (ano);

Ks = coeficiente de perda de fósforo por sedimentação (ano<sup>-1</sup>).

O valor de Ks é obtido através da Equação 2:

$$Ks = \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

A modelagem de carga máxima admissível (CMA) já foi utilizada anteriormente em estudos voltados para produção aquícola (FAO, 2013). Johansson & Nordvarg (2002) utilizaram a modelagem como ferramenta de avaliação de impacto ambiental da emissão de fósforo para fazendas de piscicultura de água doce em oito lagos na Europa. Já Costa (2004) avaliou a capacidade de suporte de produção de tilápias em tanques-redes do reservatório hidrelétrico de Sobradinho, no rio São Francisco na Bahia.

O modelo de Hoekstra (2011), referente a pegada hídrica cinza, foi desenvolvido visando identificar o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes no corpo receptor, dispostas em diretrizes legais municipais, estaduais ou federais. A pegada hídrica cinza está intimamente ligada à abordagem de carga crítica. A carga crítica faz referência à carga de poluentes que irá esgotar totalmente a capacidade de assimilação de um corpo hídrico, enquanto a pegada hídrica cinza refere-se ao volume de água necessário para diluir totalmente a substância química. Esta metodologia é uma ferramenta de avaliação do consumo genérico de água doce que possibilita dimensionar a extensão de danos ambientais.

A metodologia da pegada hídrica cinza é calculada conforme a fonte de poluição, difusa ou pontual. As fontes difusas de poluição referem-se a contaminação do solo através da disposição de resíduos sólidos, uso de fertilizantes e pesticidas, resultando na contaminação de águas superficiais através de escoamento ou por lixiviação para águas subterrâneas. As fontes pontuais de poluição referem-se a contaminação de corpos hídricos através de um único e identificável ponto de lançamento de efluentes (HOEKSTRA, 2011).

O controle ambiental de fontes pontuais de poluição é mais eficiente quando comparadas a fontes difusas. Fontes pontuais podem ser calculadas através da relação entre vazão de captação de água e vazão do efluente lançado com a concentração da substância estudada presente em ambos e dispostas na legislação, conforme Equação 3:

$$PH_{proc, cinza} = \frac{Q_{efl} * C_{efl} - Q_{cap} * C_{cap}}{C_{max} - C_{nat}} \quad (3)$$

onde:

$PH_{proc, cinza}$  = pegada hídrica cinza

$Q_{efl}$  = vazão do efluente ( $L s^{-1}$ );

$C_{efl}$  = concentração da substância no efluente ( $mg L^{-1}$ );

$Q_{cap}$  = volume da água captada ( $L s^{-1}$ );

$C_{cap}$  = concentração da substância na água captada ( $mg L^{-1}$ );

$C_{max}$  = concentração máxima aceitável da substância para o padrão ambiental local ( $mg L^{-1}$ );

$C_{nat}$  = concentração natural da substância no corpo d'água receptor - sem modificações antrópicas na bacia - ( $mg L^{-1}$ ).

Em casos onde não há uso consuntivo de água, ou seja, o volume hídrico do efluente lançado é o mesmo volume de água captada, então a equação poderá ser simplificada para Equação 4:

$$PH_{proc, cinza} = \frac{C_{efl} - C_{cap}}{C_{max} - C_{nat}} * Q_{efl} \quad (4)$$

Esta jovem metodologia vem sendo amplamente utilizada na avaliação dos impactos ambientais ocasionados pela poluição dos recursos hídricos. Sua maior utilização é voltada para avaliação de contaminação dos recursos hídricos através das produções agrícolas. Com uma ampla base de estudos de produtos agrícolas, a avaliação da pegada hídrica cinza para fontes de proteína animal nos dias atuais está voltada essencialmente para animais terrestres, exceto a um estudo

recentemente apresentado por Pahlow (2015) avaliando a pegada hídrica cinza de alimentos artificiais para aquicultura.

Baseado na utilização de modelos matemáticos como a carga máxima admissível e pegada hídrica cinza é possível estabelecer um planejamento ambiental de atividades causadoras de impactos ambientais. Os novos modelos de sistemas intensivos de produção de camarões marinhos possuem características que podem alterar a dinâmica dos nutrientes que ocorre no sistema de cultivo, podendo promover danos ambientais aos corpos receptores adjacentes, comprometendo ambientes aquáticos de fundamental importância para diversos níveis tróficos. Diante do exposto, este trabalho apresenta um estudo de caso sobre o aporte de fósforo oriundo de cultivos intensivos de *Litopenaus vannamei* utilizando a avaliação da carga máxima admissível de um corpo hídrico e de pegada hídrica cinza.





## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Contribuir com o desenvolvimento sustentável da carcinicultura brasileira avaliando a dinâmica do fósforo total presente no efluente final do cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei* em viveiros com solo impermeabilizado através do uso de geomembrana sintética e sem renovação de água.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Quantificar a concentração de fósforo total presente no efluente final gerado pelo sistema de cultivo intensivo em viveiros com solo impermeabilizado com geomembrana sintética na fase de engorda do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*;
- Identificar a carga máxima admissível de fósforo total do corpo receptor;
- Identificar a pegada hídrica cinza do efluente gerado pelo sistema de cultivo;
- Correlacionar os dados de carga máxima admissível e pegada hídrica cinza com a hidrodinâmica do corpo receptor e seu possível impacto ambiental.

Os resultados obtidos nesse estudo serão apresentados no artigo intitulado “**Avaliação do aporte de fósforo em efluentes de sistemas de cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei* em viveiro com solo impermeabilizado e o possível impacto ambiental**”, submetido de acordo com as normas da revista Aquaculture International.



### 3. ARTIGO CIENTÍFICO

#### **Avaliação do aporte de fósforo em efluentes de sistemas de cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei* em viveiro com solo impermeabilizado e o possível impacto ambiental**

Camilla Adriano Wojcikiewicz<sup>a</sup>, Luis Garbossa<sup>b</sup>, Carlos Espírito Santo<sup>a</sup>, Felipe Nascimento Vieira<sup>a</sup>, Luis Alejandro Vinatea Aranã<sup>a</sup>, Katt Regina Lapa<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Aquicultura, Laboratório de Camarões Marinhos, Florianópolis, SC, CEP 88062-601, Brasil

<sup>b</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Florianópolis, SC, CEP 88034-901, Brasil

#### **RESUMO**

Nos últimos anos os sistemas de cultivo de camarões marinhos foram aprimorados e modelos de ciclo fechado sem renovação de água vêm apresentando êxito operacional. A impermeabilização do solo, característica de destaque dos sistemas de cultivos intensivos, pode proporcionar alteração na dinâmica de concentração de fósforo total na coluna d'água. O objetivo deste estudo foi identificar o aporte de fósforo total oriundo do cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei*, em viveiros impermeabilizados com geomembrana, através de dois métodos de avaliação de impacto ambiental: carga máxima admissível e pegada hídrica cinza. O estudo foi conduzido na fazenda Experimental Yakult – UFSC. Os resultados obtidos nas análises de água durante a despesca indicaram concentração média de fósforo total no efluente de 2,68 mg L<sup>-1</sup>. A estimativa de carga máxima admissível de fósforo total suportada pela Lagoa da Cruz não foi excedida pelo efluente gerado pela fazenda, desconsiderando outras fontes de poluição. A pegada hídrica resultou em um volume de água de 68% do utilizado na produção. Em curto prazo não foram observados efeitos nocivos da fazenda Yakult-UFSC na Lagoa da Cruz. Recomenda-se a avaliação de impactos em longo prazo para observar os efeitos em cascata no ecossistema aquático.

**Palavras-chave:** camarões marinhos, carga máxima admissível, impacto ambiental, pegada hídrica cinza.

## INTRODUÇÃO

Visando ampliar a produtividade e, principalmente, reduzir os impactos ambientais da carcinicultura os sistemas de cultivos foram aprimorados e novos modelos surgiram nos últimos anos (Boyd, 2003; Biao and Kaijin, 2007; Anh et al., 2010; Bui, Luong-Van, Austin, 2012). O sistema de cultivo fechado sem renovação de água e com aeração suplementar vem sendo implementado para a carcinicultura com êxito operacional (McIntosh, 2000a; Browdy et al., 2001; Boyd, Clay, 2002).

Um dos sistemas de cultivo que se destaca por apresentar benefícios ambientais quando comparados aos sistemas produtivos tradicionais é o modelo de Belize. Este sistema de cultivo pressupõe o melhor gerenciamento da água e do solo dos cultivos intensivos através do manejo adequado dos animais com uso mais eficiente da água, possibilitando um aumento da densidade de estocagem com uma menor geração de impactos ambientais. (McIntosh, 2000a; 2000b; 2000c; Boyd, Clay, 2002).

O sistema de cultivo do modelo de Belize apresenta vantagens produtivas e ambientais e os sistemas intensivos de produção têm se adaptado a estas características. Este sistema possibilita o uso de alimentação artificial de baixo teor proteico, tendo em vista o crescimento bacteriano que servirá como alimento suplementar e propiciará uma melhora na qualidade de água. O uso de aeração intensa mantém o material particulado em suspensão e favorece a decomposição orgânica devido ao aumento da disponibilidade de oxigênio dissolvido na água. Zonas anaeróbias de decomposição da matéria orgânica no sedimento são evitadas através da impermeabilização no solo com o uso de uma geomembrana sintética (McIntosh, 2000b; 2000c; Boyd, Clay, 2002).

A utilização de uma geomembrana em cultivos de camarões marinhos propicia maior controle do ambiente de cultivo reduzindo a erosão do solo. O lodo resultante do sistema de cultivo é rico em matéria orgânica, o que possibilita sua utilização como fertilizante na agricultura de espécies resistentes a salinidade. Além do ambiente de cultivo, o ecossistema circundante também é beneficiado através da redução da contaminação e salinização do solo, de águas subterrâneas e superficiais (Boyd, Clay, 2002).

Este sistema de cultivo é considerado de 20 a 40 vezes mais eficiente no uso da água quando comparados a sistemas tradicionais semi-intensivos por não haver renovação de água durante o ciclo e a geração de efluentes ser menor, devido a possibilidade de reuso da água

(Boyd, Clay, 2002). Embora a geração de efluente seja menor, o impacto sobre o meio ambiente dependerá diretamente da concentração dos compostos que será liberada no efluente somada a capacidade de assimilação do corpo receptor para os mesmos compostos, conforme alertado por Piedrahita (2003) já que muitos sistemas ainda não utilizam o reúso da água de cultivo.

O solo impermeabilizado pode interferir a dinâmica dos nutrientes na coluna d'água. O fósforo é um dos nutrientes que podem sofrer alterações na sua dinâmica devido a impermeabilização do solo. Sem a interface do sedimento livre os íons de fosfato, derivados do acúmulo de ração no fundo do tanque, da excreta dos camarões e da decomposição de animais mortos, não serão adsorvidos no sedimento e irão incrementar sua disponibilidade no sistema de cultivo (McIntosh, 2000a). Mesmo o fósforo não sendo tóxico aos animais, o seu excesso na coluna d'água promove um efluente altamente eutrofizante.

Embora possua um papel importantíssimo para organismos vivos no ambiente aquático, o fósforo é normalmente escasso em águas superficiais bem oxigenadas e seu excesso é considerado o fator determinante de aumento de produtividade aquática (Rickfels, 2010). De acordo com a Lei dos Mínimos de Liebig o crescimento de um organismo é limitado pelo elemento essencial que está presente na concentração inferior ao requerido por este organismo (Kreus, Lanzer, Paris, 1995). Quando o processo de adição desse nutriente é intenso em ambientes aquáticos limitados pelo mesmo, ocorre um crescimento acelerado da biomassa que não é incorporado ao ambiente na mesma velocidade e acaba promovendo um desequilíbrio ecológico (Rivera, 2003).

O estado de equilíbrio de um corpo hídrico em muitas regiões é limitado pelo fósforo que, quando em grandes quantidades, pode promover a eutrofização. Quando desconhecidos os processos naturais de autodepuração capazes de neutralizar totalmente as cargas orgânicas lançadas em corpos d'água é necessário estimar a capacidade do ecossistema aquático de receber essas cargas. A fim de reduzir os impactos ambientais e ampliar a demanda de recursos naturais são utilizados diversos modelos matemáticos que estimam de forma empírica os danos ambientais que ações antrópicas podem causar. Modelos matemáticos como o de Vollenweider (1976) e o de Hoekstra (2011), auxiliam a caracterizar o resultado das ações antrópicas em ambientes lacustres.

O modelo de Vollenweider (1976) foi desenvolvido para a avaliação do potencial de eutrofização de um corpo hídrico. A fim de

evitar os processos de eutrofização, ocorridos devido ao excesso de nutrientes dos efluentes lançados em corpos hídricos, a abordagem de estimativa de carga máxima admissível fornece dados numéricos da concentração máxima de fósforo que o ambiente aquático suporta sem sofrer alterações ambientais. Já o modelo de Hoekstra (2011), a pegada hídrica cinza, foi desenvolvido visando identificar o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes no corpo receptor, conforme preconizado nas diretrizes legais municipais, estaduais e federais.

De acordo com Buford et al. (2003) embora muito referidos, os impactos ambientais em águas costeiras são pouco documentados em estudos científicos.

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre o aporte de fósforo oriundo de efluentes de cultivos intensivos de *Litopenaus vannamei*, baseado na identificação da alteração da dinâmica deste nutriente que pode ocorrer no sistema de cultivo com solo impermeabilizado através do uso de geomembrana sintética.

A avaliação dos possíveis danos ambientais ao corpo receptor adjacente foi realizada através das metodologias de carga máxima admissível - levando em consideração que o fósforo é um dos fatores limitantes de produção primária do corpo receptor estudado - e de pegada hídrica cinza - levando em consideração a apropriação de recursos hídricos no sistema produtivo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Local de estudo e a hidrodinâmica do corpo receptor Lagoa da Cruz**

O estudo de caso foi realizado na Fazenda Experimental Yakult-UFSC, localizada ao norte do estado de Santa Catarina, no município de Balneário Barra do Sul. A fazenda possui 19 viveiros para o cultivo de camarões marinhos da espécie *Litopenaeus vannamei*. Dentre os viveiros dezessete são escavados e dois apresentam solo impermeabilizado com geomembrana Neoplastic® PEAD. O estudo foi realizado em um dos viveiros de cultivo intensivo com solo impermeabilizado, sem renovação de água, com aproximadamente 0,4 hectares e povoado com 100 pós-larvas por metro quadrado.

A produtividade atingida no viveiro após 100 dias foi de aproximadamente 3,3 t de camarão, obtida através da pesagem da produção. A sobrevivência apresentada foi de 85%, obtida através da

relação da produtividade e o peso final dos animais com o número de pós-larvas utilizados. A alimentação artificial fornecida foi de 4.413 kg com uma taxa de conversão alimentar de 1,33:1.

O viveiro foi abastecido com água do sistema estuarino-lagunar do rio Itapocu, pertencente a Bacia Hidrográfica do Rio Itapocu - SC. A captação de água e a drenagem dos efluentes gerados estão localizadas imediatamente a frente da fazenda, na região ao extremo norte do estuário chamada Lagoa da Cruz (Figura 1). Esta laguna tem orientação constante e paralela à linha de costa, ocupando uma extensão linear de aproximadamente 5 km, com larguras inferiores a 500 m, e profundidade média de 1,8 m (Caruso Jr., 2004). As trocas fluviais e marinhas ocorrem atualmente na porção central do estuário, devido à fixação de um molhe. Um dos fatores limitantes de produção primária da Lagoa da Cruz é o fósforo (ETHOS, 2013).

Figura 1 - Área fixada para captação de água e drenagem do efluente do sistema de cultivo estudado.



A estimativa de troca de água do sistema estuarino-lagunar foi obtida a partir da variação média de marés através de dados de maré astronômica da região do Balneário Barra do Sul. A variação do nível do mar foi obtida através da análise harmônica da maré da região, baseada na rotina T-Tide (Pawlowicz et al., 2002) a qual permitiu obter as constantes harmônicas e gerar série temporal de maré astronômica para a região. O nível máximo de maré para o mês de janeiro foi de +0,93 metros, e o nível mínimo de maré foi de -0,88 metros no mesmo período.

O tempo de detenção hidráulica (TDH), relação entre a vazão de escoamento superficial da Lagoa da Cruz e seu volume, foi obtido através da estimativa de vazão média em função da maré, resultando em 6,17 horas.

O clima da região deste estudo, segundo a classificação climática de Köppen, corresponde ao temperado úmido com verão quente, com uma temperatura média anual variando de 20°C até 22°C. A região é caracterizada por valores de precipitação total anual variando de 1904 mm ano<sup>-1</sup>, e uma evaporação média de 538,68 mm ano<sup>-1</sup> (Caruso, 2004).

### **Dimensionamento do viveiro, fazenda, laguna e coleta de dados**

O volume hídrico total utilizado pelo viveiro estudado foi obtido através de dados de dimensionamento (área X profundidade) a fim de se obter o resultado mais real possível. A área total alagada, medidas através de satélite e com dados obtidos na própria fazenda, é de 42 m de largura, 85 m de comprimento e 1,7 m de altura de lâmina de água. Essas dimensões indicam um volume útil de viveiro de 6.069 m<sup>3</sup>.

Para fins deste estudo, considerou-se que toda a Fazenda Experimental Yakult-UFSC apresentava seus viveiros impermeabilizados com geomembrana e produzindo camarões na densidade de 100 animais por metro quadrado em funcionamento pleno. Com uma área alagada de 23 ha e com profundidade média estimada em 1,5 m devido à variação topográfica, resultando no volume total de água de 345.000 m<sup>3</sup>. Utilizando o mesmo método foi calculado o volume total da Lagoa da Cruz. A área total alagada da Lagoa da Cruz foi estimada em aproximadamente 250 m de largura, 5500 m de comprimento e 1,8 m de profundidade, resultando no volume aproximado de 2.475.000 m<sup>3</sup>.

Considerou-se que o volume total do efluente foi lançado no corpo receptor adjacente somente no momento de despesca, por um período total de 14 horas. A drenagem do viveiro ocorreu pelo nível superior da comporta, sendo retirada aproximadamente a cada duas horas uma régua de madeira de 25 cm. O lançamento do efluente teve início às 08 horas da manhã e foi finalizado às 22 horas. Foram coletadas amostras de água em dois locais distintos: (1) na comporta de drenagem do efluente e (2) no corpo hídrico receptor. As amostras foram coletadas em quatro campanhas durante o período de despesca com intervalo de 4 horas entre cada uma a fim de identificar extratos de fósforo total na coluna d'água. As coletas iniciaram na primeira hora após o início da drenagem e foram finalizadas na última hora da



drenagem. As amostras foram identificadas com o local de coleta e a hora da amostragem, sendo Efluente (H1, H2, H3, H4) e Lagoa (H1, H2, H3, H4) e imediatamente após a coleta foram acondicionados em um refrigerador até o fim do ciclo. Após a finalização das coletas as amostras foram levadas a um laboratório privado, no qual as análises de fósforo total foram efetuadas seguindo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (22ª edição, método 4500 E-P). Durante a despesca os aeradores foram mantidos 100% ligados no tempo H1 e H2, 50% em H3, e apenas um equipamento em H4.

Não houve acumulação de fósforo no sedimento devido ao uso da geomembrana impermeabilizadora. No entanto, houve o acúmulo de matéria orgânica, ou lodo, na superfície da geomembrana. A geomembrana foi lavada após a despesca e o lodo foi utilizado como fertilizante orgânico. O lodo resultante não foi avaliado neste estudo.

### **Metodologia para o cálculo de Carga Máxima Admissível de fósforo**

A abordagem utilizada no estudo de caso da Fazenda Experimental Yakult-UFSC foi o modelo simplificado de Vollenweider (1976) para obtenção da carga máxima admissível de fósforo. O valor resultante obtido foi a carga de fósforo total que a Lagoa da Cruz pode receber sem sofrer alterações ambientais. A estimativa pode ser calculada através da Equação 1:

$$L = \frac{P * V * \left( \frac{1}{tdh} + Ks \right)}{10^3} \quad (1)$$

Onde L é a carga máxima admissível de fósforo (kg a<sup>-1</sup>), P é a concentração de fósforo no corpo hídrico (g m<sup>-3</sup>), V é o volume da lagoa (m<sup>3</sup>), TDH é o tempo de detenção hidráulica (ano) e Ks é o coeficiente de perda de fósforo por sedimentação (ano<sup>-1</sup>). O valor de Ks é obtido através da Equação 2:

$$Ks = \frac{1}{\sqrt{TDH}} \quad (2)$$

Para efetuar o cálculo da estimativa de carga máxima admissível de fósforo total no corpo receptor, Lagoa da Cruz, foi aplicada a Equação 1 na qual o volume (V) é 2.475.000 m<sup>3</sup>, no entanto o volume utilizado foi baseado no nível médio de maré, sendo o volume aproximado de 2.488750 m<sup>3</sup>; a concentração de fósforo (P) utilizada foi

a concentração natural da Lagoa da Cruz baseada na Resolução Normativa do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA nº 357/2005, correspondente a 0,124 g m<sup>-3</sup>. O tempo de detenção hidráulica (TDH) encontrado para a Lagoa da Cruz foi estimado em 6,17 horas, sendo transformado para a unidade do método, resultando em 0,0007 ano. O coeficiente de perda de fósforo por sedimentação (Ks) foi estimado através do TDH.

### Metodologia para o cálculo da Pegada Hídrica Cinza

Para o estudo de caso da Fazenda Yakult-UFSC foi avaliado, através da pegada hídrica cinza, o volume hídrico necessário para assimilação da substância de relevância ambiental previamente escolhida, o fósforo total. O volume hídrico resultante será o total de água consumida pelo efluente ao hipoteticamente ser lançado sem tratamento prévio na Lagoa da Cruz, considerando a despesa da fase de engorda do viveiro de cultivo intensivo de camarões marinhos com solo impermeabilizado.

A abordagem utilizada foi a pegada hídrica cinza para fontes pontuais de poluição tendo em vista que o lançamento de efluentes da fazenda é único e identificável. No caso do sistema de cultivo intensivo de camarões marinhos estudado foi considerado que não há uso consuntivo de água, ou seja, o volume hídrico do efluente lançado é o mesmo volume de água captada. Isso se deve pelo fato do solo impermeabilizado impedir a infiltração de água através do sedimento, e a taxa de pluviosidade ser superior que a taxa de evaporação na região.

Ela pode ser calculada conforme Equação 3:

$$PH_{proc,cinza} = \frac{C_{efl} - C_{cap}}{C_{max} - C_{nat}} * Q_{efl} \quad (3)$$

Onde  $PH_{proc,cinza}$  é a pegada hídrica cinza (m<sup>3</sup>) de uma etapa de processo produtivo,  $C_{efl}$  é a concentração da substância no efluente (mg L<sup>-1</sup>),  $C_{cap}$  é a concentração da substância na água captada (mg L<sup>-1</sup>),  $C_{max}$  é a concentração máxima aceitável da substância para o padrão ambiental local (mg L<sup>-1</sup>),  $C_{nat}$  é a concentração natural da substância no corpo d'água receptor considerando que não houveram modificações antrópicas na bacia (mg L<sup>-1</sup>), e  $Q_{efl}$  é a vazão do efluente (L s<sup>-1</sup>).

A concentração máxima aceitável ( $C_{max}$ ) e a concentração natural ( $C_{nat}$ ) para o estudo foram embasadas nas legislações de âmbito estadual (Santa Catarina) e federal (Brasil), respectivamente. O estado de Santa

Catarina possui uma legislação ambiental mais restritiva que a federal em relação ao limite de lançamento de determinadas substâncias em trechos de lagoas, lagunas e estuários, sendo a concentração máxima aceitável ( $C_{\max}$ ) de fósforo total, condicionada pela Lei nº 14.675/2009 que institui o Código Estadual do Meio Ambiente, de  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ . A concentração natural ( $C_{\text{nat}}$ ) foi considerada baseada na Resolução Normativa do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA nº 357/2005, que estabelece o enquadramento ambiental dos corpos d'água. A Lagoa da Cruz é um corpo hídrico salobro com enquadramento legal Classe 1, de acordo com o Relatório de Diagnóstico Ambiental da empresa ETHOS (2013). O  $C_{\text{nat}}$  da Lagoa da Cruz para fósforo total é  $0,124 \text{ mg L}^{-1}$ .

A concentração do fósforo total no efluente ( $C_{\text{efl}}$ ) e na água captada ( $C_{\text{cap}}$ ) foi estimada através da média das concentrações encontradas nas amostras das quatro campanhas de coleta, resultando em  $2,68 \text{ mg L}^{-1}$  ( $s \pm 0,99$ ) e  $0,0625 \text{ mg L}^{-1}$  ( $s \pm 0,0126$ ). Considerando o uso não consuntivo da água, o volume do efluente foi igual ao volume de captação, de acordo com as dimensões do viveiro estudado o volume de água utilizado na etapa de engorda do cultivo foi de  $6.069 \text{ m}^3$ . A despesca ocorreu em um período de 14 horas (50.400 segundos), resultando na vazão do efluente ( $Q_{\text{efl}}$ ) de  $0,120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

## RESULTADOS

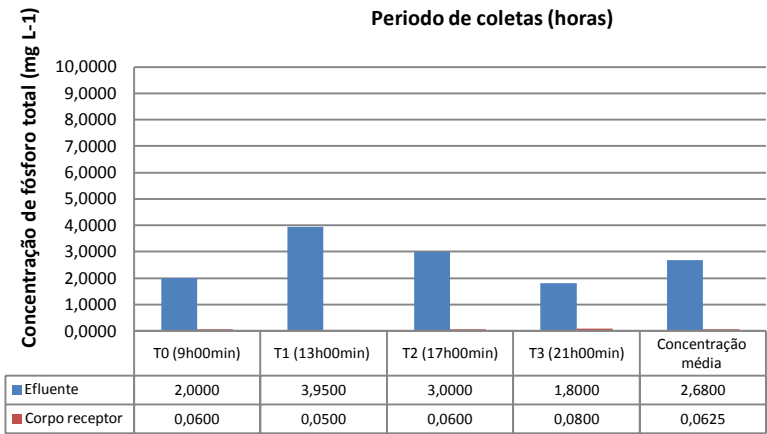
Os resultados da análise de fósforo total presentes nas amostras de efluente, coletadas durante o período de despesca do viveiro e nas amostras de água coletadas na Lagoa da Cruz estão apresentados na Figura 2.

De acordo com o volume captado para o viveiro estudado, a Lagoa da Cruz contribui com  $0,379 \text{ kg}$  de fósforo total. Já o efluente coletado ao longo das 14 h de despesca apresentou uma concentração média igual a  $2,68 \text{ mg L}^{-1}$ , gerando uma carga de fósforo total no efluente do viveiro igual a  $16,31 \text{ kg}$ .

Considerando o funcionamento pleno da fazenda em modelo intensivo de solo impermeabilizado, a carga de fósforo total da Lagoa da Cruz para o sistema de cultivo seria de  $21,56 \text{ kg}$ , e a carga de fósforo total presente no efluente seria de  $927,2 \text{ kg}$  por ciclo de produção, ou  $40,31 \text{ kg}$  por hectare por ciclo.

A parcela resultante da contribuição de fósforo total no efluente da fazenda para o corpo receptor foi de  $905,65 \text{ kg}$ .

Figura 2 - Concentração de fósforo total no efluente do cultivo intensivo de camarões marinhos com solo impermeabilizado e da Lagoa da Cruz.



**Carga Máxima Admissível de fósforo total**

A estimativa da carga máxima admissível de fósforo total para a Lagoa da Cruz, considerando o nível médio de maré, foi de aproximadamente 452,53 toneladas por ano. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 – Estimativa da carga máxima admissível para a Lagoa da Cruz, considerando o efluente do sistema de cultivo intensivo de camarões marinhos com solo impermeabilizado.

	Maré média
V - Volume da Lagoa da Cruz (m³)	2.488.750
P - Concentração de fósforo na Lagoa da Cruz (g m³ <sup>-1</sup> )	0,124
t - Tempo de detenção hidráulica (ano)	0,0007
Ks - Coeficiente de perda de fósforo para o sedimento (ano <sup>-1</sup> )	37,796
L – carga máxima admissível (kg a <sup>-1</sup> )	452.528,46

**Pegada Hídrica Cinza**

A pegada hídrica cinza resultante foi de 4.110,19 m³. Ou seja, para o cultivo intensivo de camarões marinhos em viveiro com solo

impermeabilizado, com 100 animais por  $\text{m}^2$ , com um volume de  $6.069 \text{ m}^3$  são necessários  $4.110,19 \text{ m}^3$  para assimilação do fósforo total presente no efluente. O volume necessário para assimilação do efluente sem tratamento prévio corresponde a 67,73% do volume utilizado para a produção.

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Estimativa da pegada hídrica cinza da etapa de engorda do cultivo de camarões marinhos com solo impermeabilizado.

	Água salobra Classe 1
$Q_{\text{eff}}$ - Vazão do efluente ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	0,120
Pegada hídrica cinza média ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	0,081
Tempo de lançamento do efluente (s)	50400
Pegada Hídrica Cinza ( $\text{m}^3$ )	4.110,19

Considerando o funcionamento pleno da fazenda em modelo intensivo de solo impermeabilizado o volume total de efluente produzido seria de aproximadamente  $345.000 \text{ m}^3$ , e o total para assimilação seria de  $233.649,4 \text{ m}^3$ .

## DISCUSSÃO

Este estudo verificou que o efluente gerado pelo sistema de cultivo intensivo com solo impermeabilizado apresentou uma concentração média de fósforo total de  $2,68 \text{ mg L}^{-1}$ . Embora esta concentração encontre-se dentro do padrão estabelecido pela legislação estadual de Santa Catarina pertinente ao lançamento de efluentes em lagoas costeiras, limitado em  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$  está quase nove vezes maior que a concentração recomendada para efluentes pela Global Aquaculture Alliance (GAA), de  $\leq 0,3 \text{ mg L}^{-1}$  (Boyd & Gautier, 2000). No entanto, para Vinatea et al. (2011) as condições ambientais das fazendas são específicas de cada localidade, fazendo-se necessário o monitoramento dos padrões de qualidade de água com o devido embasamento em padrões do ecossistema estudado em particular.

O viveiro com solo impermeabilizado com uma produtividade  $3,3 \text{ t}$  de camarão gerou uma carga de fósforo total no efluente de  $16,31 \text{ kg}$ , ou  $4,94 \text{ kg}$  de fósforo por tonelada de camarão produzido. A fazenda Yakult/UFSC em funcionamento pleno neste sistema de cultivo geraria uma carga de fósforo total no efluente de  $40,31 \text{ kg ha}^{-1}$ . Esta

carga corresponde a um incremento de 4200% na concentração média de fósforo total na água utilizada pela fazenda ao considerar a concentração natural da Lagoa da Cruz.

Os resultados das análises de fósforo total neste estudo indicaram que a carga máxima admissível da Lagoa da Cruz não foi excedida. Porém, a carga máxima admissível encontrada refere-se ao corpo hídrico sem intervenções antrópicas, ou seja, a Lagoa da Cruz tem o potencial para receber 452,52 toneladas de fósforo anualmente, no entanto a mesma já sofre processos de intervenção antrópicas e este potencial pode estar reduzido.

Embora Bonetti Filho (2000) e Caruso Jr. (2004) tenham evidenciado uma condição hidrodinâmica limitada para renovação de água da Lagoa da Cruz ao observar a baixa intensidade de correntes de maré, a fixação do molhe na região central do complexo lagunar promoveu uma alteração na hidrodinâmica da lagoa favorecendo a influência de marés. O alto valor da carga máxima admissível de fósforo para a Lagoa da Cruz encontrado neste estudo se deve ao baixo tempo de detenção hidráulica, influenciado pela variação de marés, que proporciona uma redução na retenção de fósforo no sedimento.

A estimativa da pegada hídrica cinza da etapa de engorda do cultivo intensivo estudado resultou em 4.110,19 m<sup>3</sup> para um viveiro com produtividade de 3,3 toneladas de camarões. A pegada hídrica cinza encontrada por tonelada de camarão produzido nesse modelo de sistema de cultivo foi de 1245,5 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>. Para este estudo de caso seria necessário usar aproximadamente 68% do volume hídrico utilizado para a produção para a assimilação da concentração de fósforo total presente no efluente do cultivo. O resultado obtido está associado a sistemas de cultivos intensivos de camarões marinhos, avaliados para carga de fósforo total para lançamentos de efluente em corpos receptores salobros. O volume hídrico necessário para assimilação de fósforo total observado neste estudo faz referência a estas características específicas não sendo generalizado aos demais sistemas de cultivo.

A hidrodinâmica da Lagoa da Cruz sofre variação devido a influência das marés, sendo assim a assimilação de fósforo total do efluente pelo corpo receptor utilizaria volumes diferentes de acordo com a variação da maré. Considerando o funcionamento pleno da fazenda nas condições estabelecidas neste estudo, com uma pegada hídrica cinza de 233.649,4 m<sup>3</sup>, e considerando as variações mínima e máxima de maré do período de estudo, o volume total necessário para assimilação do efluente lançados no nível máximo de maré corresponde a 6,22% do volume total da Lagoa da Cruz, já no nível mínimo de maré 18,47% do

volume da lagoa seria utilizado considerando a concentração média do fósforo total. Embora os percentuais de consumo hídrico encontrados, baseados na variação de maré, sejam baixos quando comparados a totalidade do volume, a Lagoa da Cruz já sofre processos de intervenção antrópicas e estes índices de consumo podem comprometer a qualidade de água.

Considerando que os percentuais de consumo hídrico variam, tendo em vista que o período de maré oscila em torno de doze horas e a despesca dura em torno de quatorze horas, e a concentração do fósforo no efluente também varia conforme o período, o ideal é que a drenagem do efluente com maior concentração de fósforo total coincida com a maré máxima a fim de minimizar o impacto devido a redução da capacidade de assimilação da Lagoa da Cruz.

Baseado nos padrões de qualidade de água e efluentes, estipulados na legislação brasileira vigente e na capacidade de carga e assimilação de poluente, a fazenda Yakult-UFSC poderia trabalhar em sistema intensivo com solo impermeabilizado sem comprometer a Lagoa da Cruz. Mesmo a fazenda não sendo um potencial poluidor neste caso, a Lagoa da Cruz já tem usos múltiplos, o que reforça a utilização de métodos de tratamento de efluentes eficiente.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a impermeabilização sintética promoveu uma alteração na dinâmica do fósforo na coluna d'água devido a eliminação da interface do sedimento.

A estimativa de carga máxima admissível de fósforo total suportada pela Lagoa da Cruz não foi excedida pelo efluente gerado pela fazenda em funcionamento pleno com sistema de cultivo intensivo com impermeabilização do solo, desconsiderando outras fontes de poluição. A fixação do molhe na região central do complexo lagunar, aparentemente, promoveu uma condição hidrodinâmica favorável para renovação de água. No entanto, para um melhor entendimento dos processos ambientais que ocorrem na lagoa da Cruz sugere-se que sejam feitas novas avaliações baseadas nas taxas de produção bacteriana e fitoplânctônica, na atividade biológica do zooplâncton e nas taxas de nutrientes presentes no sedimento da lagoa a fim de complementar os resultados deste estudo.

A pegada hídrica cinza da fazenda não comprometeria a capacidade de assimilação de fósforo total da Lagoa da Cruz, levando em consideração as condições estabelecidas neste estudo. No entanto a

drenagem dos efluentes deve ser programada conforme variação de maré e a concentração de nutrientes para evitar a redução da capacidade de assimilação da lagoa.

A pegada hídrica resultou em um volume de água de 68% do utilizado na produção. Considerando o impacto ambiental e a redução da disponibilidade dos recursos hídricos é necessário reduzir este volume através de métodos de tratamento de efluente capazes de remover o fósforo total de forma eficiente, contribuindo com o desenvolvimento sustentável da atividade.

Em curto prazo não são observados efeitos nocivos da fazenda Yakult-UFSC à Lagoa da Cruz. No entanto, faz-se necessário uma avaliação de impactos em longo prazo para observar os efeitos em cascata no ecossistema aquático.

Ambos os métodos de avaliação de impacto ambiental ofereceram uma perspectiva adequada sobre a interação do sistema de cultivo com o meio ambiente demonstrando a extensão dos problemas que podem ser ocasionados devido ao lançamento de efluentes ricos em fósforo total em corpos hídricos limitados por este nutriente. Os danos ambientais proporcionados pelo efluente do sistema de cultivo estudado, caso não houvesse tratamento prévio, poderiam contribuir para o risco de auto-poliuição do sistema produtivo, tendo em vista que os corpos hídricos receptores comumente são utilizados como fontes de abastecimento.

Esta análise reforça a importância da avaliação adequada do efluente gerado nos sistemas de cultivo e do corpo receptor adjacente. Tendo em vista as diferentes dinâmicas ambientais dos sistemas costeiros, os dados gerados podem contribuir para a formulação de sistemas de cultivos produtivos mais eficientes ambientalmente.

## REFERÊNCIAS

Anh PT et al. (2010) Water pollution by intensive brackish shrimp farming in south-east Vietnam: Causes and options for control. *Agricultural Water Management* 97:872-882.

APHA (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22th Ed. American Public Health Association, Washington, DC.



Biao X, Kaijin Y (2007) Shrimp farming in China: Operating characteristics, environmental impact and perspectives. *Ocean & Coastal Management* 50:538–550.

Bonetti Filho et. al. (2000) Estratégias para a avaliação da qualidade da água costeira com vistas à implantação de fazendas de cultivo de camarão. Exemplo aplicado ao Sistema Estuarino-Lagunar do Rio Itapocu, SC. In: *Aquicultura Brasil 2000 - XI Simpósio Brasileiro de Aquicultura (SIMBRAQ 2000)*. ABRAQ / ACAq / ABCC, Florianópolis, 10 p. (publicado em CD-ROM).

Boyd CE (2003) Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture* 226:101–112.

Boyd CE, Clay JW (2002) Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A Superintensive Shrimp Aquaculture System. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium. 17 p.

Boyd CE, Gautier D (2000) Effluent Composition and Water Quality Standards - Implementing GAA's Responsible Aquaculture Program. *The Advocate*. 5 p.

Boyd CE, Tucker CS (1998) Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, USA.

Boyd CE et al. (2007) Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science* 15:327–360.

Brasil. Resolução Normativa do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357, de 17 de março de 2005.

Browdy CL, et al. (2001) Perspectives on the application of closedshrimp culture systems. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the SpecialSession on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, pp. 20 – 34.

Buford MA et al (2003) Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219:93–411.

Bui TD, Luong-Van J, Austin, CM (2012) Impact of shrimp farm effluent on water quality in coastal areas of the world heritage-listed Ha Long Bay. **American Journal of Environmental Sciences** 8:104–116

Caruso Jr. Estudos Ambientais (2004) Estudo de impacto ambiental (EIA/RIMA) para abertura da barra e implantação dos molhes de fixação da foz do Rio Itapocu. Prefeitura Municipal de Barra Velha, Santa Catarina.

Ethos Serviços Técnicos Ltda. (2013) Relatório de diagnóstico ambiental da situação atual. Prefeitura Municipal de Barra Velha, Santa Catarina.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2014) Yearbook of Fishery Statistics 2012. Aquaculture Production.

Hoekstra et al. (2011) The water footprint assessment manual: Setting the global standard. London, Earthscan, 203 p.

Kreus CL, Lanzer EA, Paris Q (1995) Funções de produção Von Liebig com rendimentos decrescentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30:95-106.

McIntosh RM (2000a) Changing paradigms in shrimp farming: III Pond desing and operation considerations. *Global Aquaculture Advocate*. February:42-45.

McIntosh RM (2000b) Changing paradigms in shrimp farming: IV Low protein feeds and feeding strategies. *Global Aquaculture Advocate*. April:44-50.

McIntosh RM (2000c) Changing paradigms in shrimp farming: V Establishment of heterotrophic bacterial communities. *Global Aquaculture Advocate*. December:53–58.

Pawlowicz R, Beardsley B, Lentz S (2002) Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T TIDE. Computers and Geosciences 28:929-937

Piedrahita RH (2003) Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. Aquaculture 226:35-44.

Rocha IP (2015) Cultivo do Camarão Marinho: Atividade Socialmente Justa, Ambientalmente Responsável economicamente Importante, de Forma Especial para o Meio Rural da Região Nordeste. Artigo Executivo. Associação Brasileira de Criadores de Camarão. 8 p.

Santa Catarina. Lei Estadual nº 14.675, de 13 de abril de 2009.

Vinatea LA et al. (2003) Caracterização dos efluentes das fazendas de cultivo de *Litopenaeus vannamei* na região Nordeste do Brasil. Revista da ABCC, Recife, 52 – 54.

Vollenweider RA (1976) Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol, 33:53-83.



#### 4. REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÕES. Levantamento da Infraestrutura Produtiva e dos Aspectos Tecnológicos, Econômicos, Sociais e Ambientais da Carcinicultura Marinha no Brasil em 2011. Convênio ABCC/MPA. 77 p. Natal, 2013.

ANH, P.T. et al. Water pollution by intensive brackish shrimp farming in south-east Vietnam: Causes and options for control. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 872-882, 2010.

BIAO, X., KAIJIN, Y. Shrimp farming in China: Operating characteristics, environmental impact and perspectives. **Ocean & Coastal Management**, v 50, p. 538–550. (2007)

BOERS, P. C. M., VAN RAAPHORST, W., VAN DER MOLEN, T. D. Phosphorus retention in sediments. **Wat. Sci. Tech**, v. 37, nº 3, p. 31–39. 1998.

BOYD, C. E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. **Aquaculture**, v 226, p. 101–112. 2003.

BOYD, C. E. et al. Estimates of Bottom Soil and Effluent Load of phosphorus at a Semi-intensive Marine Shrimp Farm. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 37, n. 1. 2006.

BOYD, C. E., CLAY, J. W. Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A Superintensive Shrimp Aquaculture System. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium. 17 pages. 2002.

BOYD, C. E., TUCKER, C. S. Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, USA. 1998.

BOYD, C.E. et al. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. **Reviews in Fisheries Science**, v. 15, p. 327–360. 2007.

BROWDY C.L., et al. (2001) Perspectives on the application of closedshrimp culture systems. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the SpecialSession on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge,USA, pp. 20 – 34.

BUI, T. D., LUONG-VAN, J., AUSTIN, C. M. Impact of shrimp farm effluent on water quality in coastal areas of the world heritage-listed Ha Long Bay. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 8, n. 2, p. 104–116, 2012.

COSTA, B. D. F. Caracterização ambiental e dimensionamento da capacidade de aproveitamento do Reservatório de Sobradinho para a instalação de tanques-rede. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernanbuco. Recife, 2004.

DIANA, J. S. Aquaculture Production and Biodiversity Conservation. **BioScience**, v. 59 n. 1. p. 27-38. 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Climate change, water and food security**. FAO Water Report 36. Rome, 2011. 200 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and challenges**. Rome, 2014a. 243 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics 2012**. Rome, 2014b. 76 p.

GEOSYNTHETIC INSTITUTE. GRI Test Method GM13. Disponível em: <<http://www.geosynthetic-institute.org/grispecs/gm13.pdf>>. Acesso em 19 mai. 2015.

HOEKSTRA et al. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. London, Earthscan, 2011, 203 p.

JOHANSSON, T.; NORDVARG, L. Empirical mass balance models calibrated for freshwater fish farm emissions. **Aquaculture**, v. 212, p. 191– 211. 2002.

KREUS, C. L.; LANZER, E.A.; PARIS, Q. Funções de produção Von Liebig com rendimentos decrescentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 95-106. 1995

LAI, D. Y. F., LAM, K. C. Phosphorus retention and release by sediments in the eutrophic Mai Po Marshes, Hong Kong. **Marine Pollution Bulletin**, v. 57, p. 349–356. 2008.

MCINTOSH, R. M. Changing paradigms in shrimp farming: III Pond desing and operation considerations. *Global Aquaculture Advocate*. February:42-45. (2000a)

MCINTOSH, R. M. Changing paradigms in shrimp farming: IV Low protein feeds and feeding strategies. *Global Aquaculture Advocate*. April:44-50. (2000b)

MCINTOSH, R. M. Changing paradigms in shrimp farming: V Establishment of heterotrophic bacterial communities. *Global Aquaculture Advocate*. December:53–58. (2000c)

PIEDRAHITA, R. H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. **Aquaculture**, v 226, p. 35–44. 2003.

RICKLEFS, R. E. The economy of nature. W. H. Freeman; 6th Ed. 2008.

RIVERA, E. A. C. Modelo sistêmico para compreender o processo de eutrofização em um reservatório de água. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas – São Paulo. 135 p. 2003.

ROCHA, I. P. Cultivo do Camarão Marinho: Atividade Socialmente Justa, Ambientalmente Responsável economicamente Importante, de Forma Especial para o Meio Rural da Região Nordeste. Artigo Executivo. Associação Brasileira de Criadores de Camarão. 8 p. 2015.

ROSS, L.G., et. al. Carrying capacities and site selection within the ecosystem approach to aquaculture. In L.G. Ross, T.C. Telfer, L. Falconer, D. Soto & J. Aguilar-Manjarrez, eds. *Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture*, pp. 19–46. FAO/Institute of Aquaculture, University of Stirling, Expert Workshop,

6–8 December 2010. Stirling, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 21. Rome, FAO. 282 pp. 2013.

SCHINDLER, D. W. Eutrophication and Recovery in Experimental Lakes: Implications for Lake Management. **Science New Series**, v. 184, n° 4139, p. 897-899. 1974.

TACON, A. G. J., FORSTER, I. P. Aquafeeds and the environment: policy implications. **Aquaculture**, v. 226, p. 181-189, 2003.

VOLLENWEIDER, R.A. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. **Mem. Ist. Ital. Idrobiol**, v.33, p. 53-83.1976.